不同酸化剂与玉米粉混合对香蕉茎叶和假茎青贮品质的影响[1]

程　宣　王洪荣*　金亚倩　彭阿龙　任胜男　夏光亮

（扬州大学动物科学与技术学院，扬州 225009）

摘　要：为探讨不同酸化剂与玉米粉混合对高水分香蕉茎叶和假茎青贮品质的影响，本试验分别以鲜香蕉茎叶和假茎（静置 48 h，对应含水率 91.1%和 94.8%）为青贮原料，添加不同酸化剂与玉米粉进行青贮。在香蕉茎叶青贮时分别添加 10%玉米粉（YY 组）、10%玉米粉+0.6%甲酸（YJ 组）、10%玉米粉+0.4%乙酸（YS 组）、10%玉米粉+0.5%丙酸钙（YB 组），同时设不添加酸化剂与玉米粉的对照（CK_1 组）；在香蕉假茎青贮时分别添加 10%玉米粉（JY 组）、10%玉米粉+0.6%甲酸（JJ 组）、10%玉米粉+0.4%乙酸（JS 组）、10%玉米粉+0.5%丙酸钙（JB 组），同时设不添加酸化剂与玉米粉的对照（CK_2 组）。青贮 45 d 后开封，对各组青贮饲料进行感官评定和实验室评定。结果显示：不同添加剂处理后得到的香蕉茎叶和假茎青贮饲料的感官评定均优于相应的对照组（CK_1 和 CK_2 组）；与相应的对照组相比，添加玉米粉的 YY 组和 JY 组 pH 均显著降低（P<0.05），乳酸含量显著提高（P<0.05），氨态氮含量显著降低（P<0.05）。添加不同酸化剂的 YJ、YS 和 YB 组与 YY 组的干物质、粗蛋白质、中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量无显著差异（P>0.05），而 JY 组的干物质、中性洗涤纤维和总酚含量均显著低于 JJ 组（P<0.05），且香蕉茎叶组和香蕉假茎组中均以添加甲酸与玉米粉的组（YJ 组和 JJ 组）乳酸含量最低，可溶性碳水化合物含量最高。由此可见，在青贮时加入酸化剂与玉米粉可提高高水分香蕉茎叶和假茎的青贮品质，其中以添加甲酸与玉米粉时的青贮品质最佳。

关键词：酸化剂；玉米粉；香蕉茎叶；香蕉假茎；青贮品质

中图分类号：S816　　文献标识码：A　　文章编号：

香蕉是一种高产速生的单子叶草本植物，含有丰富的蛋白质、维生素、微量元素和多种活性成分，具有较高的营养价值、药用价值和食用价值，在我国广东、广西、云南、海南等热带、亚热带地区被广泛栽培，目前已成为我国南方的大宗水果，其与苹果、葡萄、柑橘并

收稿日期：2018-03-18
基金项目：国家公益性行业(农业)科研专项(201303144)；扬州大学高编人才支持计划（2016）
作者简介：程　宣(1993-)，女，新疆石河子人，硕士研究生，从事反刍动物营养研究。E-mail: 1752245281@qq.com
*通信作者：王洪荣，教授，博士生导师，E-mail: hrwang@yzu.edu.cn

称为世界四大水果[1-2]。

香蕉在采收后会产生大量的茎叶和假茎等副产物，由于残留物分布广、体积大、收集困难，只有少部分被当作肥料和燃料利用，造成了极大的资源浪费[3]。加之南方雨热条件良好而新鲜香蕉茎叶和假茎的水分含量较高、营养成分丰富，极易为细菌生长提供有利条件，如果不及时加以利用，会造成腐败变质进而污染环境[4]。香蕉茎叶和假茎用作饲料时可以直接青饲或烘干饲喂，但在青饲时不易保鲜和贮存，饲喂周期短。而干燥处理缺乏相关机械设备且能耗大，所需成本太高。将香蕉副产物青贮化,是现有保存饲料营养价值最好的方法之一，既可解决资源浪费又可改善饲料的适口性。目前，有关香蕉茎叶作为反刍动物粗饲料加工利用的研究还鲜见报道，由于香蕉茎叶水分含量高，制作普通青贮难度大，探讨通过添加添加剂制作特殊青贮具有重要现实意义。本研究旨在探讨不同酸化剂类型与玉米粉混合对高水分香蕉茎叶和假茎青贮品质的影响，并筛选出适宜的酸化剂与玉米粉组合方案，为后期调制香蕉茎叶和假茎青贮提供理论和技术支撑。

1　材料与方法

1.1　试验材料

香蕉茎叶和假茎均采自广西省武鸣县，玉米粉购自当地市场。青贮所用酸化剂如下：甲酸（formic acid，FA），分析纯，纯度为 98%；乙酸（ethylic acid，EA），分析纯，纯度≥99.5%；丙酸钙（calcium propionate，CP），分析纯，纯度≥98%。

1.2　试验方法

1.2.1　试验设计

本试验分别以香蕉茎叶和假茎为制作原料，将试验分为 2 个大组，即香蕉茎叶组和香蕉假茎组。2 种青贮原料的青贮试验均采用单因素设计，每种青贮原料均设 5 个组，每组 3 个重复。试验设计见表 1。

表 1　试验设计

Table 1　Experimental design

青贮原料 Silage materials	组别 Groups	处理方法 Treatment methods
香蕉茎叶 Banana	CK_1	香蕉茎叶单独青贮

stems and leaves	YY	香蕉茎叶+10%玉米粉青贮
	YJ	香蕉茎叶+10%玉米粉+0.6%甲酸青贮
	YS	香蕉茎叶+10%玉米粉+0.4%乙酸青贮
	YB	香蕉茎叶+10%玉米粉+0.5%丙酸钙青贮
香蕉假茎 Banana pseudostems	CK_2	香蕉假茎单独青贮
	JY	香蕉假茎+10%玉米粉青贮
	JJ	香蕉假茎+10%玉米粉+0.6%甲酸青贮
	JS	香蕉假茎+10%玉米粉+0.4%乙酸青贮
	JB	香蕉假茎+10%玉米粉+0.5%丙酸钙青贮

1.2.2　青贮饲料的调制

取 9 月份刈割后的香蕉茎叶和假茎自然状态下放置 48 h 后带回实验室，使用青贮袋进行青贮。将香蕉茎叶和假茎分别切短至 2～3 cm，其中香蕉茎叶组以茎：叶=7:3 的比例混合。按照试验设计分别将香蕉茎叶组和香蕉假茎组依次加入玉米粉和不同酸化剂，充分混匀，装入青贮袋中，用美吉斯真空机抽真空并封口编号。所有组均在扬州大学草食动物营养代谢与调控研究室进行室内贮藏，45 d 后开封取样，整个贮藏期间，室内温度变化范围为 13～24 ℃，平均温度为 18.5 ℃。

1.3　检测指标与方法

试验于 45 d 后开启青贮袋，将发酵后的青贮样取出混匀，在扬州大学草食动物营养代谢与调控研究室进行各指标测定。

1.3.1　感官评定

感官评定参照德国农业协会（Deutche Landwirtschafts Geseutschaft，DLG）青贮质量感官评分标准对气味、质地和色泽 3 个方面进行等级评定[5]。气味分 4 个等级，2～14 分；质地分 4 个等级，0～4 分；色泽分 3 个等级，0～2 分。然后以 3 项评分标准进行评定：1 级（优良），16～20 分；2 级（尚好），10～15 分；3 级（中等，）5～9 分；4 级（腐败），0～4 分。

1.3.2　常规营养成分分析

分别取青贮原料 200 g 和发酵后的待测样品 150 g，在 65 ℃烘箱中烘 48 h，冷却至恒重，

测定干物质（DM）含量，剩余烘干样用微型植物样粉碎机粉碎过 1 mm 筛后置于自封袋中备测。按照张丽英[6]的《饲料分析及饲料质量检测技术》(第 3 版)测定样品中总氮（TN）、粗蛋白质（CP）、粗脂肪（EE）、中性洗涤纤维（NDF）、酸性洗涤纤维（ADF）和粗灰分（Ash）的含量。参照 Owens 等[7]的蒽酮-硫酸比色法测定可溶性碳水化合物（WSC）的含量。参照 Makkar 等[8]的福林酚（F-C）试剂法测定总酚（TP）和总单宁（TT）含量。非单宁酚（NTP）含量为 TP 含量与 TT 含量之差。参照 Porter 等[9]的盐酸-丁醇法测定缩合单宁（CT）的含量。

1.3.3 发酵品质分析

称取新鲜青贮饲料样品 35 g 放入带盖广口塑料瓶中，加入 75 mL 蒸馏水，搅拌均匀，盖紧瓶盖，置于 4 ℃冰箱中，静置浸提 48 h 后取出，将浸提液用 4 层纱布及定性滤纸过滤，浸出液一部分立即测定 pH[10]，另一部分保存在-20 ℃冷冻，用于氨态氮（NH_3-N）和有机酸[乳酸（LA）、乙酸（AA）、丙酸（PA）及丁酸（BA）]含量的测定。其中 NH_3-N 含量测定参照 Broderick[11]的苯酚-次氯酸钠比色法。有机酸含量的测定参照 Kawamoto 等[12]和 Khan 等[13]的气相色谱法。

1.4 数据分析

用 Excel 2012 进行数据整理，用 SPSS 22.0 软件对数据进行单因素方差分析，并用 Duncan 氏法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 香蕉茎叶和假茎的营养成分和酚类物质含量

香蕉茎叶和假茎的营养成分含量见表 2。香蕉茎叶的各营养成分含量总体高于香蕉假茎。其中香蕉茎叶的 DM 和 WSC 含量分别比香蕉假茎高出 2.84%和 3.59%。香蕉茎叶的 TP、NTP 和 TT 含量均高于香蕉假茎，而 CT 含量低于香蕉假茎。

表 2 青贮原料的营养成分和酚类物质含量

Table 2 Nutrient component and polyphenols contents of silage materials

青贮原料 Silage materials	香蕉茎叶 Banana stems and leaves	香蕉假茎 Banana pseudostems
干物质 DM/% FM	8.09	5.25
营养成分 Nutrient components/% DM		

粗蛋白质 CP	9.94	8.19
粗脂肪 EE	8.50	5.96
粗灰分 Ash	15.80	23.50
中性洗涤纤维 NDF	63.78	61.09
酸性洗涤纤维 ADF	40.18	39.73
可溶性碳水化合物 WSC	4.86	1.27
酚类物质 Polyphenols/(mg/g DM)		
总酚 TP	1.95	1.24
非单宁酚 NTP	0.14	0.13
总单宁 TT	1.81	1.11
缩合单宁 CT	0.03	0.23

2.2 香蕉茎叶和假茎青贮饲料的感官评定

由表 3 可知，所有青贮饲料的色泽与青贮原料基本相似，评分较稳定；质地品质上，除 CK_2 组青贮饲料表面有轻微的发霉现象外，其余各组茎叶结构均保持良好，未出现发霉现象；各试验组与 CK_1 和 CK_2 组相比均存在较浓的芳香气味。总体来看，CK_2 组评分等级最低，达 3 级水平，属于中等范畴，CK_1 组是 2 级，表现尚好，其余各组评定等级表现优良。

表 3 青贮饲料的感官评定

Table 3 Sensory evaluation of silage

青贮原料 Silage materials	组别 Groups	指标得分 Index scores 气味 Odour	质地 Texture	色泽 Colour	评分及等级 Scores and Grades
香蕉茎叶 Banana stems and leaves	CK_1	8	3	1	12（2 级）
	YY	12	4	1	17（1 级）
	YJ	13	4	2	19（1 级）
	YS	12	4	2	18（1 级）
	YB	13	4	2	19（1 级）
香 蕉 假 茎	CK_2	6	2	1	9（3 级）

Banana pseudostems	JY	12	3	1	16（1 级）
	JJ	13	4	2	19（1 级）
	JS	13	4	2	19（1 级）
	JB	13	4	1	18（1 级）

2.3　香蕉茎叶青贮饲料的营养成分和酚类物质含量

由表 4 可知，YY 组的 DM 含量显著高于 CK_1 组（P<0.05），而 NDF 和 ADF 含量显著低于 CK_1 组（P<0.05）。添加 3 种酸化剂后的 YJ、YS 和 YB 组与 YY 组相比，Ash 含量显著降低（P<0.05），DM、CP、NDF 和 ADF 含量无显著差异（P>0.05）。3 个酸化剂组相比，YJ 组的 TP 含量显著高于 YS 组（P<0.05），NTP、TT 和 CT 含量各组间无显著差异（P>0.05）。

表 4　香蕉茎叶青贮饲料的营养成分和酚类物质含量

Table 4　Nutrient component and polyphenols contents of silage for banana stems and leaves

项目 Items	组别 Groups					均值标准误 SEM	P 值 P-value
	CK_1	YY	YJ	YS	YB		
干物质 DM/% FM	7.74^{b}	16.59^{a}	16.80^{a}	16.66^{a}	16.70^{a}	0.45	<0.01
营养成分 Nutrient components/% DM							
粗蛋白质 CP	10.23	10.17	9.84	10.79	9.83	0.44	0.26
粗灰分 Ash	16.18^{a}	10.61^{b}	8.14^{d}	8.75^{d}	9.85^{c}	0.28	<0.01
中性洗涤纤维 NDF	58.11^{a}	50.32^{b}	47.15^{b}	49.33^{b}	47.08^{b}	1.64	<0.01
酸性洗涤纤维 ADF	34.20^{a}	18.43^{b}	18.11^{b}	17.84^{b}	17.52^{b}	0.60	<0.01
酚类物质 Polyphenols/(mg/g DM)							
总酚 TP	1.51^{ab}	1.99^{ab}	2.08^{a}	1.37^{b}	2.01^{ab}	0.28	0.09
非单宁酚 NTP	0.15	0.15	0.16	0.15	0.16	0.25	0.97

总单宁 TT	1.37	1.83	1.80	1.19	1.85	0.29	0.13
缩合单宁 CT	0.24	0.24	0.26	0.20	0.21	0.37	0.48

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著（P>0.05），不同小写字母表示差异显著（P<0.05）。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05). The same as below.

2.4 香蕉假茎青贮饲料的营养成分和酚类物质含量

由表 5 可知，JY 组的 DM 含量显著高于 CK_2 组（P<0.05），而 Ash、NDF、ADF 和 CT 含量显著低于 CK_2 组（P<0.05）。添加 3 种酸化剂后的 JJ、JS 和 JB 组与 JY 组相比，JJ 组的 DM、NDF、TP 和 CT 含量均显著升高（P<0.05），JS 组的 CP、NDF、TP 和 CT 含量均显著升高（P<0.05）。3 个酸化剂组相比，YS 组的 NDF 含量最高，显著高于其他组（P<0.05）。

表 5 青贮香蕉假茎的营养成分和酚类物质含量

Table 5 Nutrient component and polyphenols contents of silage for banana pseudostems

项目	组别 Groups					均值标准误	P 值
Items	CK_2	JY	JJ	JS	JB	SEM	P-value
干物质 DM/%FM	5.47^{c}	13.59^{b}	14.07^{a}	13.94^{ab}	13.69^{ab}	0.19	<0.01
营养成分 Nutrient components/% DM							
粗蛋白质 CP	8.93^{c}	9.09^{bc}	9.35^{ab}	9.54^{a}	9.23^{bc}	0.13	<0.01
粗灰分 Ash	23.50^{a}	10.16^{bc}	9.47^{c}	9.37^{c}	11.1^{b}	0.47	<0.01
中性洗涤纤维 NDF	55.41^{b}	45.64^{d}	50.23^{c}	64.08^{a}	43.08^{d}	1.57	<0.01
酸性洗涤纤维 ADF	34.75^{a}	16.40^{b}	15.83^{b}	16.74^{b}	15.66^{b}	1.04	<0.01
酚类物质 Polyphenols/(mg/g DM)							
总酚 TP	0.86^{b}	0.92^{b}	1.41^{a}	1.20^{ab}	1.13^{ab}	0.16	0.04

非单宁酚 NTP	0.17	0.18	0.16	0.17	0.13	0.04	0.69
总单宁 TT	0.68^{b}	0.69^{b}	0.89^{ab}	1.03^{a}	0.95^{ab}	0.13	0.07
缩合单宁 CT	0.26^{a}	0.12^{c}	0.18^{b}	0.18^{b}	0.13^{bc}	0.03	<0.01

2.5 香蕉茎叶青贮饲料的发酵品质

由表 6 可知，CK_1 组的乳酸含量显著低于 YY 组（$P<0.05$），而 CK_1 组的 pH 显著高于 YY 组（$P<0.05$）。添加 3 种酸化剂后的 YJ、YS 和 YB 组与 YY 组相比，YJ、YS 和 YB 组均未产生丁酸，YJ 和 YB 组 pH 显著降低（$P<0.05$）。3 个酸化剂组相比，YS 组的 pH 显著高于其他组（$P<0.05$），YJ 组的乳酸含量显著低于其他组（$P<0.05$），而 YB 组的丙酸含量显著高于其他组（$P<0.05$）。

表 6 香蕉茎叶青贮饲料的有机酸含量和 pH

Table 6 Organic acid contents and pH of silage for banana stems and leaves

项目	组别 Groups					均值标准误	*P* 值
Items	CK_1	YY	YJ	YS	YB	SEM	*P*-value
pH	4.27^{a}	3.91^{b}	3.57^{c}	3.90^{b}	3.76^{c}	0.04	<0.01
有机酸 Organic acids/（mmol/L）							
乳酸 LA	3.230^{c}	5.042^{b}	0.002^{d}	3.969^{bc}	8.291^{a}	0.75	<0.01
乙酸 AA	5.830	6.258	0.562	7.847	2.482	3.15	0.21
丙酸 PA	0.302^{b}	0.331^{b}	0.009^{b}	0.203^{b}	4.166^{a}	0.42	<0.01
丁酸 BA	0.032	0.009	—	—	—	0.02	0.38

2.6 香蕉假茎青贮饲料的发酵品质

由表 7 可知，CK_2 组的乳酸含量显著低于 JY 组（$P<0.05$），而 CK_2 组的 pH 显著高于 JY 组（$P<0.05$）。添加 3 种酸化剂后的 JJ、JS 和 JB 组与 JY 组相比，JJ 组的乳酸含量显著降低（$P<0.05$），JS 组的乙酸含量显著升高（$P<0.05$），JB 组的丙酸含量显著升高（$P<0.05$），JJ 和 JB 组的 pH 显著降低（$P<0.05$）。3 个酸化剂组相比，JJ 组的乳酸含量显著低于 JS 和 JB 组（$P<0.05$），JS 组的乙酸含量显著高于 JJ 和 JB 组（$P<0.05$），而 JB 组的丙酸含量显著高

于 JJ 和 JS 组（*P*<0.05），JJ 和 JB 组均未产生丁酸。

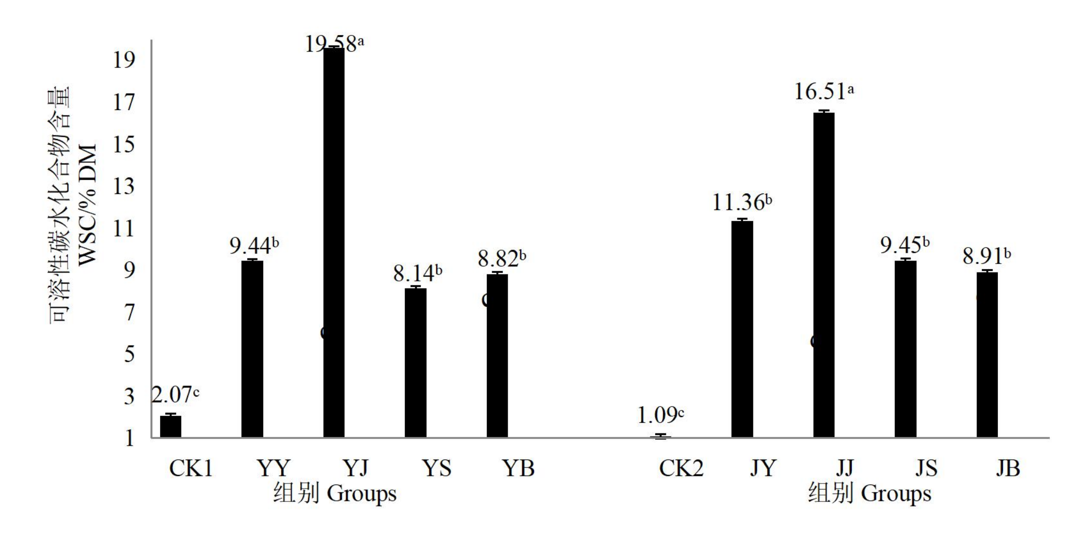
表 7　香蕉假茎青贮饲料的有机酸含量和 pH

Table 7　Organic acid contents and pH of silage for banana pseudostems

项目 Items	组别 Groups CK2	JY	JJ	JS	JB	均值标准误 SEM	*P* 值 *P*-value
pH	5.29[a]	3.85[c]	3.50[d]	3.97[b]	3.77[c]	0.04	<0.01
有机酸 Organic acids/（mmol/L）							
乳酸 LA	1.609[bc]	4.943[a]	0.344[c]	3.834[ab]	5.762[a]	1.18	<0.01
乙酸 AA	5.140[b]	1.524[b]	0.164[b]	25.664[a]	5.529[b]	6.38	0.02
丙酸 PA	0.122[b]	0.084[b]	0.009[b]	0.324[b]	4.476[a]	1.78	0.12
丁酸 BA	0.065	0.005	—	0.029	—	0.05	0.54

2.7　香蕉茎叶和假茎青贮饲料的 WSC 含量及 NH_3-N 与 TN 的比值

由图 1 可知，2 种青贮原料下均以未添加酸化剂和玉米粉的对照组（CK_1 和 CK_2 组）的 WSC 含量最低，而均以添加玉米粉和甲酸的组（YJ 组和 JJ 组）的 WSC 含量最高；并且，香蕉茎叶组中的 YS 组、YB 组和 YY 组以及香蕉假茎组中的 JS 组、JB 组和 JY 组之间 WSC 含量均无显著差异（*P*＞0.05）。



数据柱形上标无字母或相同字母表示差异不显著（*P*＞0.05），不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05）。图 2 同。

Value columns with no letter or the same letters mean no significant difference ($P > 0.05$), while with different small letters mean significant difference ($P<0.05$). The same as Fig.2.

图 1　香蕉茎叶和假茎青贮饲料的 WSC 含量

Fig.1　WSC content of silages for banana stems and leaves and banana pseudostems

由图 2 可知，2 种青贮原料下均以未添加酸化剂和玉米粉的对照组（CK_1 和 CK_2 组）的 NH_3-N 与 TN 的比率最高，而均以添加玉米粉和甲酸的组（YJ 组和 JJ 组）的 NH_3-N 与 TN 的比值。

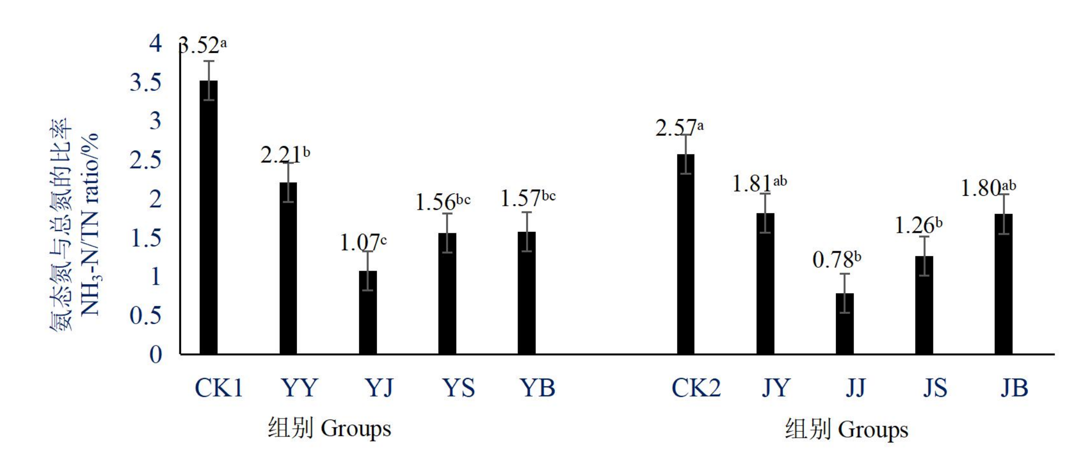


图 2　香蕉茎叶和假茎青贮饲料的 NH_3-N 与 TN 的比值

Fig.2　NH_3-N/TN ratio of silage for banana stems and leaves and banana pseudostems

3　讨　论

3.1　不同酸化剂与玉米粉混合对香蕉茎叶和假茎青贮饲料感官评定的影响

青贮是保存高水分作物营养成分的良好方法，而青贮想要成功，必须要有良好的发酵条件，在厌氧环境下青贮原料具有充足的含糖量及适宜的含水量是发酵成功的先决要素[14]。香蕉茎叶和假茎含水量较高，WSC 含量略低，不宜直接青贮，加入适宜的玉米粉和酸化剂可大大提高青贮品质。本试验中，按照 DLG 青贮质量感官评分标准从气味、质地和色泽对 2 种青贮原料通过不同方式处理所得的青贮饲料进行评分。总体来看，2 种青贮原料下均以甲酸与玉米粉混合的评分稳定，达到各组最高水平，青贮效果良好。CK_2 组表面有轻微的发霉现象，可能是因为香蕉假茎含水量过高，假茎中芯由细小纤维构成的管道中有残余的空气，加上表面乳酸菌附着较少，为霉菌等腐败菌创造良好了的生活环境。

3.2　不同酸化剂和玉米粉混合对香蕉茎叶和假茎青贮饲料营养成分和酚类物质含量的影响

玉米粉作为营养型的吸收剂，一方面可以为青贮原料提供 WSC，另一方面可以调节青贮原料的含水量，从而减少微生物对其营养成分的消耗。本研究中，添加酸化剂和玉米粉的试验组的 DM 含量均显著高于未添加酸化剂和玉米粉的对照组，主要原因是由于对照组未添加玉米粉，而添加玉米粉的其他各组 DM 含量均高于 13%且无显著差异，说明玉米粉可以有效增加青贮原料的干物质含量。王春芳[15]在香蕉茎和全株的青贮发酵动态研究中发现含水量高达 90%多的香蕉茎和全株可通过青贮进行有效保存，本试验的结果与此一致，表明高水分的香蕉茎叶和假茎可以进行青贮。Fransen 等[16]提出，对于高水分作物青贮时，添加吸收剂可以减少汁液流失，降低养分损失，从而提高青贮发酵效果。WSC 是乳酸菌发酵的物质基础，原料中有足够的可溶性糖是青贮成功的保障。香蕉茎叶和假茎的甲酸组 WSC 含量最高，刘艳芳等[17]研究表明在籽粒苋青贮中添加甲酸可显著提高发酵末期的 WSC 含量，本试验与此结果一致，这在吕文龙[18]的研究中也被证实。NDF 和 ADF 作为粗饲料的主要成分，对调控反刍动物饲粮精粗比、促进反刍功能、保证瘤胃健康具有重要意义[19]。香蕉茎叶和香蕉假茎组中的各试验组的 NDF 和 ADF 含量均较各自对照组显著下降，表明经过青贮后，通过微生物的发酵作用，可以降低各试验组青贮饲料的纤维含量。

单宁对反刍动物的影响作用既有利又有弊，适宜的单宁含量不但可以提高反刍动物对蛋白质的利用效率，还可以减少膨胀病的发生；与之相反，过高的单宁含量可降低动物的采食量，引起家畜的不良反应[20]。本试验中测得的香蕉茎叶的 TP 含量较低，这与王春芳[15]的研究相似，香蕉植株的不同部位 TP 含量有显著差异，其中香蕉茎与叶相比 TP 含量普遍偏低。

3.3 不同酸化剂和玉米粉混合对香蕉茎叶和假茎青贮饲料发酵品质的影响

青贮饲料中有机酸含量及构成可以反映青贮发酵品质的好坏，其中最重要的是乳酸、乙酸、丙酸和丁酸，通常认为乳酸含量越高越好[21]。本试验中，香蕉茎叶和假茎的甲酸组的乳酸含量均属于组内最低，原因可能是甲酸在有机酸中酸性最强，它的添加不仅抑制了各种微生物的活动，同时也抑制了乳酸菌的生长繁殖，使得乳酸含量显著低于其他试验组。随着对青贮添加剂乙酸研究的深入，研究人员发现乙酸可以有效抑制酵母等真菌生长，对提高青贮饲料的有氧稳定性具有重要作用[22-25]。本试验中，香蕉茎叶组和香蕉假茎组中添加乙酸的试验组乙酸含量均高于同组中的其他试验组，主要原因可能是外来乙酸的添加最终导致发酵产物乙酸含量的增加。香蕉茎叶组和香蕉假茎组中添加丙酸钙的试验组的丙酸含量显著高于

其他试验组，这是因为丙酸钙属于丙酸盐，在青贮时可以解离出丙酸根，进而提高丙酸含量。各组在青贮过程中没有产生或只产生极少量的丁酸，说明各组青贮发酵品质表现良好。

青贮饲料的 pH 与发酵优劣之间有着密切的关系，通常认为 pH 在 4.2 以下青贮即为成功[14]。香蕉茎叶和假茎青贮中，除 CK_1 和 CK_2 组的 pH 分别为 4.27 和 5.29，其他组的青贮品质均达到优等质量。

NH_3-N 与 TN 的比值可反映青贮饲料中蛋白质及氨基酸分解的程度，比值越大，说明蛋白质分解越多，意味着青贮质量不佳[26]。保存良好的青贮饲料 NH_3-N 与 TN 的比值应低于 10%[27-28]。本试验中各组青贮饲料的 NH_3-N 与 TN 的比值均小于 10%，说明香蕉茎叶和假茎青贮饲料保存良好。

4 结 论

① 对于高水分的香蕉茎叶和假茎，在青贮时加入玉米粉其青贮效果优于自然青贮。

② 对于高水分的香蕉茎叶和假茎，在青贮时加入酸化剂与玉米粉其青贮效果优于自然青贮。

③ 综合来说，在高水分的香蕉茎叶和假茎青贮过程中以添加甲酸与玉米粉混合青贮效果最优。

参考文献：

[1] 洪佳敏,何炎森,郑云云,等.香蕉成分及其保健功能研究进展[J].中国农学通报,2016,32(10):176–181.

[2] 蔡健.浅谈香蕉的保健作用[J].食品与药品,2005,7(3):65–67.

[3] 郑侃,张喜瑞,梁栋,等.香蕉茎秆机械化处理利用的现状与分析[J].农机化研究,2014,36(3):239–241,245.

[4] 邓怡国,孙伟生,王金丽,等.热带农业废弃物资源利用现状与分析——香蕉茎叶综合利用[J].广东农业科学,2011,38(1):19–22.

[5] 中华人民共和国农业部.青贮饲料质量评定标准(试行)[J].中国饲料,1996(21):5–7.

[6] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].3 版.北京:中国农业大学出版社,2007.

[7] OWENS V N,ALBRECHT K A,MUCK R E,et al.Protein degradation and fermentation characteristics of red clover and alfalfa silage harvested with varying levels of total

nonstructural carbohydrates[J].Crop Science,1999,39(6):1873–1880.

[8] MAKKAR H P S,SIDDHURAJU P,BECKER K,et al.Trypsin inhibitor[M]//Plant secondary metabolites.Methods in molecular biology.Totowa:Humana Press,2007.

[9] PORTER L J,HRSTICH L N,CHAN B G.The conversion of procyanidins and prodelphinidins to cyanidin and delphinidin[J].Phytochemistry,1986,25(1):225–230.

[10] HAN K J,COLLINS M,VANZANT E S,et al.Bale density and moisture effects on alfalfa round bale silage[J].Crop Science,2004,44(3):914–919.

[11] BRODERICK G A.Alfalfa silage or hay versus corn silage as the sole forage for lactating dairy cows[J].Journal of Dairy Science,1985,68(12):3262–3271.

[12] KAWAMOTO H,OGAWA M,HAYASAKA K,et al.Effects of formic acid-ProPionic acid-ammonium complex on fermentation quality and Palatability of wrapped round bale silage[J].Bulletin of National Grassland Research Institute,2000,59:18–23.

[13] KHAN N A,CONE J W,HENDRIKS W H.Stability of fatty acids in grass and maize silages after exposure to air during the feed out period[J].Animal Feed Science and Technology,2009,154(3/4):183–192.

[14] 夏友国.产纤维素酶菌株的筛选及不同添加剂在青贮饲料中的应用研究[D].硕士学位论文.福州:福建农林大学,2010.

[15] 王春芳.青贮香蕉茎叶营养价值评定及对肉牛品质的影响[D].博士学位论文.北京:中国农业大学,2015.

[16] FRANSEN S C,STRUBI F J.Relationships among absorbents on the reduction of grass silage effluent and silage quality[J].Journal of Dairy Science,1998,81(10):2633–2644.

[17] 刘艳芳,邱昊日,余雄,等.不同处理方式对籽粒苋青贮品质的影响[J].草业学报,2017,26(9):214–220.

[18] 吕文龙.青贮添加剂对不带穗青玉米秸青贮发酵的影响[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2010.

[19] 田兴舟,莘海亮,李凌云,等.喀斯特山区牧草青贮养分变化及其在黔北麻羊瘤胃体外发酵特性研究[J].家畜生态学报,2014,35(8):34–41.

[20] 王妍君,谢开云,赵祥,等.植物单宁及其对动物的作用研究进展[J].草原与草坪,2011,31(4):82–86,92.

[21] CAO L M,GOTO M,OHSHIMA M.Variations in the fermentation characteristics of alfalfa silage of different harvest times as treated with fermented juice of epiphytic lactic acid bacteria[J].Grassland Science,2002,47(6):583–587.

[22] 赵士萍,周敏,蒋林树.青贮饲料添加剂的研究进展[J].中国农学通报,2016,32(20):6–10.

[23] 李君风,孙肖慧,原现军,等.添加乙酸对西藏燕麦和紫花苜蓿混合青贮发酵品质和有氧稳定性的影响[J].草业学报,2014,23(5):271–278.

[24] 马旭光,刘晶晶,郑泽慧,等.乙酸和乳酸对玉米秸秆青贮料有氧稳定性和甲烷产率的影响[J].中国农业大学学报,2015,20(1):44–52.

[25] 刘晶晶.生物添加剂对柳枝稷青贮的作用及机理研究[D].博士学位论文.北京:中国农业大学,2015.

[26] KUNG L,Jr,MYERS C L,NEYLON J M,et al.The effects of buffered propionic acid-based additives alone or combined with microbial inoculation on the fermentation of high moisture corn and whole-crop barley[J].Journal of Dairy Science,2003,87(5):1310–1316.

[27] WILKINSON J M.Silage.Chapter 19:analysis and clinical assessment of silage[M].Marlow:Chalcombe Publications,2005.

[28] MCDONALD P.Animal nutrition[M].Harlow:Prentice Hall,2002.

Effects of Mixing Different Organic Acids and Maize Powder on Silage Quality of Banana Stems and Leaves and Banana Pseudostems

CHENG Xuan WANG Hongrong* JIN Yaqian PENG Along REN Shengnan XIA Guangliang

(*College of Animal Science and Technology, Yangzhou University*, *Yangzhou* 225009, *China*)

Abstract: In order to investigate the effects of mixing different organic acids and maize powder on the silage quality of high moisture banana stems and leaves and banana pseudostems, two types of silage materials——fresh banana stems and leaves and banana pseudostems (leaving for 48 hours,

*Corresponding author, professor, E-mail: hrwang@yzu.edu.cn (责任编辑 菅景颖)

and the corresponding moisture content was 91.1% and 94.8%) were ensiled with different organic acids and maize powder. The banana stems and leaves were ensiled with 10% maize powder (YY group), 10% maize powder+0.6% formic acid (YJ group), 10% maize powder+0.4% acetic acid (YS group), 10% maize powder+0.5% calcium propionate (YB group), respectively, there was a control without organic acids and maize powder (CK_1 group). The banana pseudostems were ensiled with 10% maize powder (JY group), 10% maize powder+0.6% formic acid (JJ group), 10% maize powder+0.4% acetic acid (JS group) and 10% maize powder+0.5% calcium propionate (JB group), respectively, and there was a control without organic acids and maize powder (CK_2 group). Silages were opened after ensiling 45 days, and sensory evaluation and laboratory evaluation were performed for silages of each group. The results showed that the sensory evaluation of silages for banana stems and leaves and banana pseudostems after treatment with different additives was better than that of the corresponding control group (CK_1 and CK_2 groups). Compared with the corresponding control group, the addition of maize powder (YY and JY groups) significantly reduced the pH ($P<0.05$), significantly increased the lactic acid content ($P<0.05$), and significantly reduced the ammonia nitrogen content ($P<0.05$). The contents of dry matter, crude protein, neutral detergent fiber and acid detergent fiber in YJ, YS, YB and YY groups with different organic acids were not significantly different ($P>0.05$), while the contents of dry matter, neutral detergent fiber and total phenol in JY group were significantly lower than those in JJ group ($P<0.05$), and the group added with formic acid and maize powder was used in banana stems and leaves group (YJ group) and banana pseudostems group (JJ group) had the lowest lactic acid content and the highest soluble carbohydrate content. It can be seen that the addition of different organic acids and maize powder in silage can improve the silage quality of high moisture banana stems and leaves and banana pseudostems, with the best silage quality when adding formic acid and maize powder.

Key words: organic acid; maize powder; banana stems and leaves; banana pseudostems; silage quality